

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 420 122**

51 Int. Cl.:

H01L 31/18 (2006.01)

C23C 14/06 (2006.01)

C23C 14/56 (2006.01)

C30B 23/00 (2006.01)

C23C 14/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.12.2010 E 10193910 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2013 EP 2337092**

54 Título: **Aparato de deposición de vapor de un material sublimado y procedimiento correspondiente para una deposición continua de una capa de película delgada sobre un sustrato**

30 Prioridad:

16.12.2009 US 639043

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

22.08.2013

73 Titular/es:

**PRIMESTAR SOLAR, INC (100.0%)
14401 West 65th Way Unit B
Arvada, CO 80004, US**

72 Inventor/es:

**RATHWEG, CHRISTOPHER;
REED, MAX WILLIAM y
PAVOL, MARK JEFFREY**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 420 122 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Aparato de deposición de vapor de un material sublimado y procedimiento correspondiente para una deposición continua de una capa de película delgada sobre un sustrato

5 La materia objeto dada a conocer en el presente documento versa, en general, acerca del campo de procedimientos de deposición de película delgada en los que se deposita una capa de película delgada, tal como una capa de material semiconductor, sobre un sustrato. Más en particular, la materia objeto versa acerca de un aparato de deposición de vapor y un procedimiento asociado para depositar una capa de película delgada de un material fotorreactivo sobre un sustrato de vidrio en la formación de módulos fotovoltaicos (FV).

10 Los módulos fotovoltaicos (FV) de película delgada (también denominados "paneles solares") a base de telurio de cadmio (CdTe) emparejado con sulfuro de cadmio (CdS) como los componentes fotorreactivos están logrando un gran interés y aceptación en la industria. El CdTe es un material semiconductor que tiene características particularmente adecuadas para la conversión de energía solar en electricidad. Por ejemplo, el CdTe tiene un intervalo de banda de energía de aproximadamente 1,45 eV, que permite que convierta más energía del espectro solar en comparación con materiales semiconductores de menor intervalo de banda utilizados históricamente en aplicaciones de células solares (por ejemplo, aproximadamente 1,1 eV para el silicio). Además, el CdTe convierte energía de radiación en condiciones de menor luz o de luz difusa en comparación con los materiales de menor intervalo de banda y, por lo tanto, tiene un tiempo de conversión efectiva más prolongado durante el curso de un día o en condiciones nubladas en comparación con otros materiales convencionales.

20 En general, se reconoce que los sistemas de energía solar que utilizan módulos FV de CdTe son los más rentables de los sistemas disponibles comercialmente en términos de coste por vatio de potencia generada. Sin embargo, a pesar de las ventajas del CdTe, la explotación comercial sostenible y la aceptación de la energía solar como una fuente suplementaria o primaria de energía industrial o residencial dependen de la capacidad de producir módulos FV eficaces a gran escala y de forma rentable.

25 Ciertos factores afectan mucho a la eficacia de los módulos FV de CdTe en términos de coste y de capacidad de generación de energía. Por ejemplo, el CdTe es relativamente caro y, por lo tanto, el uso eficaz (es decir, un mínimo desperdicio) del material es un factor primario de coste. Además, la eficacia de transformación de energía del módulo es un factor de ciertas características de la capa depositada de película de CdTe. Una falta de uniformidad o defectos en la capa de película puede reducir significativamente la salida del módulo, aumentando, de ese modo, el coste por unidad de potencia. Además, la capacidad de procesar sustratos relativamente grandes en una escala comercial económicamente sensata es una consideración vital.

30 La CSS (sublimación en sistema cerrado) es un procedimiento comercial conocido de deposición de vapor para la producción de módulos de CdTe. Se hace referencia, por ejemplo, a la patente U.S. nº 6.444.043 y a la patente U.S. nº 6.423.565. Dentro de la cámara de deposición de vapor en un sistema CSS, se lleva el sustrato hasta una posición opuesta a una distancia relativamente pequeña (es decir, aproximadamente 2-3 mm) opuesta a una fuente de CdTe. Se sublima el material de CdTe y se deposita sobre la superficie del sustrato. En el sistema CSS de la patente U.S. nº 6.444.043, citada anteriormente, el material de CdTe tiene forma granular y está contenido en un receptáculo calentado dentro de la cámara de deposición de vapor. El material sublimado se mueve a través de agujeros en una cubierta colocada sobre el receptáculo y se deposita sobre la superficie estacionaria de vidrio, que está mantenida a la menor distancia posible (1-2 mm) sobre el bastidor de la cubierta.

40 Dado que se consigue la mejor calidad de película de una película delgada en un intervalo pequeño de temperatura justo por debajo de la temperatura a la que la película comenzaría a sublimarse más rápidamente de lo que se deposita (por ejemplo, entre aproximadamente 600° C hasta aproximadamente 650° C para telurio de cadmio), es deseable mantener la temperatura del sustrato entre este estrecho intervalo de temperatura durante todo el procedimiento de CSS. Sin embargo, en un procedimiento de CSS, se debe calentar la cubierta hasta una temperatura considerablemente mayor (por ejemplo, aproximadamente 800° C cuando se deposita telurio de cadmio) que el sustrato para garantizar que no se deposita ni se acumula material sobre la cubierta. Dado que la cubierta está más caliente que el sustrato, la cubierta aumentará la temperatura del sustrato mediante radiación (por ejemplo, intercambio térmico) desde la cubierta. Este aumento de temperatura puede tener como resultado un gradiente de calidad de película en el grosor de la película, debido a un aumento de temperatura del sustrato durante la deposición de la película delgada. Además, si el aumento de temperatura del sustrato es demasiado elevado, el grosor de la película está limitado debido a que el sustrato puede haberse vuelto demasiado caliente como para recibir cualquier material adicional. Esto requeriría que el procedimiento comenzase con el sustrato a una temperatura menor, lo que tendría como resultado que la primera película depositada tuviese una menor calidad cristalina.

55 En consecuencia, existe una necesidad continua en la industria de un aparato mejorado de deposición de vapor y un procedimiento para la producción a gran escala viable económicamente de módulos FV eficaces, en particular módulos de CdTe. En particular, existe una necesidad de una placa mejorada de sublimación para ser utilizada en

una producción a gran escala viable económicamente de módulos FV eficaces, en particular módulos de CdTe, en un procedimiento de CSS.

Se establecerán diversos aspectos y ventajas de la invención en parte en la siguiente descripción, o pueden ser evidentes a partir de la descripción, o pueden aprenderse por medio de la práctica de la invención.

5 En general, se proporciona un aparato para una deposición de vapor de una materia fuente sublimada como una película delgada sobre un sustrato de módulo fotovoltaico (FV). En una realización, el aparato incluye una cabeza de deposición. Hay dispuesto un receptáculo en la cabeza de deposición y está configurado para la recepción de una materia fuente granular. Hay dispuesto un colector calentado de distribución por debajo del receptáculo que permite que el receptáculo sea calentado indirectamente por el colector de distribución hasta un grado suficiente como para sublimar la materia fuente dentro del receptáculo. El colector calentado de distribución define una pluralidad de pasos a través del mismo. Hay dispuesto una placa de deposición de molibdeno por debajo del colector de distribución y a una distancia definida por encima de un plano horizontal de transporte de una superficie superior de un sustrato transportado a través del aparato. La placa de distribución de molibdeno también define un patrón de pasos a través de la misma que distribuyen, además, la materia fuente sublimada que pasa a través del colector de distribución. La placa de distribución de molibdeno incluye más de aproximadamente un 75% en peso de molibdeno.

También se proporciona un procedimiento para una deposición de vapor de una materia fuente sublimada para formar una película delgada sobre un sustrato de módulo fotovoltaico (FV). Se suministra una materia fuente a un receptáculo dentro de una cabeza de deposición. El receptáculo se calienta indirectamente con un elemento que constituye una fuente de calor dispuesto por debajo del receptáculo para sublimar la materia fuente. La materia fuente sublimada es dirigida hacia abajo dentro de la cabeza de deposición a través del elemento que constituye una fuente de calor mientras que se transportan los sustratos individuales por debajo del elemento que constituye una fuente de calor. La materia fuente sublimada que pasa a través del elemento que constituye una fuente de calor es distribuida sobre una superficie superior de los sustratos por medio de una placa de distribución de molibdeno colocada entre la superficie superior del sustrato y el elemento que constituye una fuente de calor, de forma que las secciones delantera y posterior de los sustratos en la dirección de transporte están expuestas a generalmente las mismas condiciones de deposición de vapor para conseguir un grosor deseado sustancialmente uniforme de la capa de película delgada sobre la superficie superior de los sustratos, comprendiendo dicha placa de distribución de molibdeno más de aproximadamente un 75% en peso de molibdeno y definiendo un patrón de pasos a través de la misma.

30 Estos y otros aspectos, características y ventajas de la presente invención serán comprendidos mejor con referencia a la siguiente descripción y a las reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que están incorporados en la presente memoria, y que constituyen una parte de la misma, ilustran realizaciones de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención, en los dibujos:

35 La Fig. 1 es una vista en planta de un sistema que puede incorporar realizaciones de un aparato de deposición de vapor de la presente invención;

la Fig. 2 es una vista en corte transversal de una realización de un aparato de deposición de vapor según aspectos de la invención en una primera configuración operativa;

la Fig. 3 es una vista en corte transversal de la realización de la Fig. 2 en una segunda configuración operativa;

40 la Fig. 4 es una vista en corte transversal de la realización de la Fig. 2 en cooperación con un transportador de sustratos; y,

la Fig. 5 es una vista en planta del componente del receptáculo dentro de la realización de la Fig. 2.

Se concibe que el uso reiterado de caracteres de referencia en la presente memoria y en los dibujos represente los mismos o análogos elementos o características.

45 Se hará ahora referencia en detalle a realizaciones de la invención, uno o más ejemplos de las cuales se ilustran en los dibujos. Se proporciona cada ejemplo a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. De hecho, será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del ámbito de la invención. Por ejemplo, se pueden utilizar características ilustradas o descritas como parte de una realización con otra realización para producir una nueva realización adicional. Por lo tanto, se pretende que la presente invención abarque tales modificaciones y variaciones que se encuentren comprendidas dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

55 En la presente divulgación, cuando se describe que una capa está "encima" o "sobre" otra capa o sustrato, se debe comprender que las capas pueden hacer contacto directamente entre ellas o bien pueden tener otra capa o característica entre las capas. Por lo tanto, estos términos simplemente describen la posición relativa de las capas entre sí y no significan necesariamente "encima de", dado que la posición relativa por encima o por debajo depende de la orientación del dispositivo con respecto al observador. Además, aunque los aspectos de la invención no están

limitados a ningún grosor particular de la película, el término “delgado” describiendo cualquiera de las capas de película del dispositivo fotovoltaico hace referencia, en general, a la capa de película que tiene un grosor inferior a aproximadamente 10 micrómetros (“ μm ”).

5 La Fig. 1 ilustra una realización de un sistema 10, que puede incorporar un aparato 100 de deposición de vapor (Figuras 2 a 5) según realizaciones de la invención, configurado para la deposición de una capa de película delgada sobre un sustrato 14 (denominado más adelante “sustrato”) del módulo fotovoltaico (FV). La película delgada puede ser, por ejemplo, una capa de película de telurio de cadmio (CdTe). Como se ha mencionado, en general se reconoce en la técnica que una capa de película “delgada” sobre un sustrato de un módulo FV es generalmente menor de aproximadamente 10 micrómetros (μm).

10 El aparato 100 de deposición de vapor incluye una placa 152 de distribución dispuesta por debajo del colector 124 de distribución a una distancia definida por encima de un plano horizontal de la superficie superior de un sustrato subyacente 14, como se muestra en la Fig. 4. La placa 152 de distribución define un patrón de pasos, tales como agujeros, ranuras, y similares, a través de la misma que distribuyen, adicionalmente, la materia fuente sublimada que pasa a través del colector 124 de distribución, de forma que los vapores de la materia fuente son ininterrumpidos en la dirección transversal. En otras palabras, los pasos del patrón están formados y alternados o están colocados para garantizar que se deposita la materia fuente sublimada completamente sobre el sustrato en la dirección transversal, de forma que se eviten estrías o rayas longitudinales de regiones “sin revestir” sobre el sustrato.

20 Durante su uso, se calienta la placa 152 de deposición hasta una temperatura superior a la temperatura del sustrato 14 para garantizar que no se deposita ni se acumula material sobre la placa 152 de deposición. Por ejemplo, cuando se deposita una capa de película delgada de telurio de cadmio, se puede calentar el sustrato 14 hasta una temperatura de sustrato entre aproximadamente 550°C y aproximadamente 700°C (por ejemplo, entre aproximadamente 600°C y aproximadamente 650°C) mientras que se puede calentar la placa de deposición hasta una temperatura de placa superior a aproximadamente 725°C , tal como desde aproximadamente 750°C hasta aproximadamente 900°C (por ejemplo, desde aproximadamente 800°C hasta aproximadamente 850°C). Sin embargo, se puede minimizar la transferencia de calor entre la placa 152 de deposición y el sustrato 14 al controlar la composición química de la placa 152 de deposición.

30 Según una realización de la presente invención, la placa 152 de deposición es una placa 152 de deposición de molibdeno. En general, el molibdeno tiene las propiedades térmicas suficientes como para garantizar un calentamiento sustancialmente uniforme por toda la placa 152 de deposición de molibdeno a la vez que se minimiza el intercambio térmico entre la placa 152 de deposición de molibdeno y el sustrato 14 durante la deposición. Por ejemplo, el molibdeno tiene una temperatura de fusión sumamente elevada (es decir, aproximadamente 2623°C), lo que permite que se caliente una carcasa de molibdeno hasta temperaturas extremas sin temor de fundir o dañar de otra manera la carcasa. Además, el molibdeno tiene un coeficiente reducido de dilatación térmica (es decir, aproximadamente $4,8\ \mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a 25°C), a la vez que tiene suficiente conductividad térmica (es decir, aproximadamente $138\ \text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a $26,8^\circ\text{C}$), lo que permite que retenga sustancialmente la misma forma tras el calentamiento mientras que sigue proporcionando una mínima transferencia térmica por medio de la radiación al sustrato 14 cercano. El molibdeno tiene un coeficiente de emisividad de aproximadamente 0,06 a 38°C , de aproximadamente 0,08 a 260°C , de aproximadamente 0,11 a 538°C , y de aproximadamente 0,18 a 1093°C . Como se conoce en la técnica, se calcula un coeficiente de emisividad de una superficie según la ley de Stefan-Boltzmann comparando la superficie con la radiación de calor procedente de un “cuerpo negro” ideal con el coeficiente de emisividad $\varepsilon = 1$ a una temperatura dada. Esta emisividad del molibdeno es considerablemente menor que la del carbón grafitado, que tiene un coeficiente de emisividad de aproximadamente 0,76 a 100°C , de aproximadamente 0,75 a 300°C , y aproximadamente 0,71 a 500°C . Finalmente, el molibdeno tiene una resistencia relativamente elevada a la corrosión y al desgaste. Por lo tanto, se puede utilizar la placa 152 de deposición de molibdeno en la cabeza de deposición muchas veces, incluyendo el calentamiento y el enfriamiento, para depositar electrónicamente capas en un entorno de fabricación a escala comercial.

45 Según se utiliza en el presente documento, la expresión “placa de deposición de molibdeno” hace referencia a placas de deposición que incluyen más de aproximadamente un 75% en peso de molibdeno, tal como más de aproximadamente un 85% en peso de molibdeno. En algunas realizaciones, la placa 152 de deposición de molibdeno puede incluir más de aproximadamente un 95% en peso de molibdeno, tal como desde aproximadamente un 97,5% hasta un 100% en peso de molibdeno (por ejemplo, más de aproximadamente un 99,5%). En realizaciones particulares, la placa 152 de deposición de molibdeno puede consistir esencialmente en molibdeno (es decir, la carcasa está sustancialmente libre de otros metales), y, en una realización particular, la placa 152 de deposición de molibdeno puede consistir en molibdeno (es decir, sustancialmente un 100% de molibdeno puro).

55 En consecuencia, el aumento real de temperatura del sustrato 14 en el aparato 100 de deposición de vapor que tiene una placa 152 de deposición de molibdeno puede depender de varios factores. Por ejemplo, la velocidad de desplazamiento del sustrato 14 a través del aparato 100 afecta a la duración de tiempo durante el cual está expuesto el sustrato 14 a mayores temperaturas en el aparato 100 de deposición de vapor y puede afectar al aumento de temperatura. Sin embargo, en realizaciones particulares en las que se forma una capa de telurio de cadmio hasta un

grosor entre aproximadamente 1 y 5 μm , la temperatura del sustrato 14 puede aumentar no más de aproximadamente 75° C durante la deposición en el aparato 100 de deposición de vapor, tal como desde aproximadamente 10° C hasta aproximadamente 60° C. Dicho de otro modo, la temperatura del sustrato 14 puede aumentar en no más de aproximadamente un 15% de su temperatura inicial al entrar al aparato 100 de deposición de vapor antes de salir del aparato 100 de deposición de vapor, tal como desde aproximadamente un 2% hasta aproximadamente un 10%.

Se deberá apreciar que el presente aparato 100 de deposición de vapor no está limitado a ser utilizado en el sistema 10 ilustrado en la Fig. 1, sino que puede estar incorporado en cualquier línea de proceso adecuada configurada para la deposición de vapor de una capa de película delgada sobre un sustrato 14 de módulo FV. Para una referencia y una comprensión de un entorno en el que se puede utilizar el aparato 100 de deposición de vapor, se describe a continuación el sistema 10 de la Fig. 1, seguido de una descripción detallada del aparato 100.

Con referencia a la Fig. 1, el sistema ejemplar 10 incluye una cámara 12 de vacío definida por una pluralidad de módulos interconectados, incluyendo una pluralidad de módulos calentadores 16 que definen una sección de precalentamiento de la cámara 12 de vacío a través de los cuales se transportan y se calientan los sustratos hasta una temperatura deseada antes de ser transportados al interior del aparato 100 de deposición de vapor. Cada uno de los módulos 16 puede incluir una pluralidad de calentadores 18 controlados independientemente, definiendo los calentadores una pluralidad de distintas zonas de calor. Una zona particular de calor puede incluir más de un calentador 18.

La cámara 12 de vacío también incluye una pluralidad de módulos interconectados 20 de enfriamiento corriente abajo del aparato 100 de deposición de vapor. Los módulos 20 de enfriamiento definen una sección de enfriamiento dentro de la cámara 12 de vacío a través de la cual los sustratos 14 que tienen la película delgada de materia fuente sublimada depositada sobre los mismos son transportados y enfriados a una tasa controlada de enfriamiento antes de que se retiren los sustratos 14 del sistema 10. Cada uno de los módulos 20 puede incluir un sistema de enfriamiento forzado en el que se bombea un medio de enfriamiento, tal como agua fría, refrigerante, u otro medio, a través de bobinas de enfriamiento (no ilustradas) configuradas con los módulos 20.

En la realización ilustrada del sistema 10, hay ubicado al menos un módulo 22 de poscalentamiento inmediatamente corriente abajo del aparato 100 de deposición de vapor y corriente arriba de los módulos 20 de enfriamiento en una dirección de transporte de los sustratos. Según se transporta la sección delantera de un sustrato 14 fuera del aparato 100 de deposición de vapor, se mueve al interior del módulo 22 de poscalentamiento, que mantiene la temperatura del sustrato 14 esencialmente a la misma temperatura que la porción posterior del sustrato que sigue dentro del aparato 100 de deposición de vapor. De esta forma, no se permite que la sección delantera del sustrato 14 se enfríe mientras que la sección posterior sigue estando dentro del aparato 100 de deposición de vapor. Si se permitiese que la sección delantera de un sustrato 14 se enfriase según sale del aparato 100, se generaría longitudinalmente un perfil no uniforme de temperatura a lo largo del sustrato 14. Esta condición tendría como resultado la rotura del sustrato por la tensión térmica.

Como se ilustra esquemáticamente en la Fig. 1, un dispositivo 24 de alimentación está configurado con el aparato 100 de deposición de vapor para suministrar materia fuente, tal como CdTe granular. El dispositivo 24 de alimentación puede adoptar diversas configuraciones dentro del alcance y del espíritu de la invención, y funciones para suministrar la materia fuente sin interrumpir el procedimiento continuo de deposición de vapor dentro del aparato 100 o el transporte de los sustratos 14 a través del aparato 100.

Con referencia adicional a la Fig. 1, los sustratos individuales 14 son colocados inicialmente sobre un transportador 26 de carga, y son movidos subsiguientemente al interior de una estación de entrada de esclusa para vacío que incluye un módulo 28 de carga y un módulo intermedio 30. Una bomba 32 de vacío "preliminar" (es decir, inicial) está configurada con el módulo 28 de carga para producir un vacío inicial, y una bomba 38 de vacío "de precisión" (es decir, final) está configurada con el módulo intermedio 30 para aumentar el vacío en el módulo intermedio 30 esencialmente hasta la presión de vacío dentro de la cámara 12 de vacío. Hay dispuestas operativamente válvulas o compuertas 34 corredizas entre el transportador 26 de carga y el módulo 28 de carga, entre el módulo 28 de carga y el módulo intermedio 30, y la cámara 12 de vacío. Estas válvulas 34 son accionadas secuencialmente por medio de un motor u otro tipo de mecanismo 36 de accionamiento para introducir los sustratos 14 en la cámara 12 de vacío de forma progresiva sin afectar al vacío dentro de la cámara 12.

Durante el funcionamiento del sistema 10, se mantiene un vacío operativo en la cámara 12 de vacío por medio de cualquier combinación de bombas 40 de vacío preliminar y/o de precisión. Para introducir un sustrato 14 en la cámara 12 de vacío, se ventila inicialmente el módulo 28 de carga y el módulo intermedio 30 (con la válvula corrediza 34 entre los dos módulos en la posición abierta). Se cierra la válvula corrediza 34 entre el módulo intermedio 30 y el primer módulo calentador 16. Se abre la válvula corrediza 34 entre el módulo 28 de carga y el transportador 26 de carga y se mueve un sustrato 14 al interior del módulo 28 de carga. En este punto, se cierra la primera válvula corrediza 34 y entonces la bomba 32 de vacío preliminar produce un vacío inicial en el módulo 28 de carga y el módulo intermedio 30. Entonces, se transporta el sustrato 14 al interior del módulo intermedio 30, y se cierra la válvula corrediza 34 entre el módulo 28 de carga y el módulo intermedio 30. Entonces, la bomba 38 de

vacío de precisión aumenta el vacío en el módulo intermedio 30 hasta aproximadamente el mismo vacío en la cámara 12 de vacío. En este punto, se abre la válvula corrediza 34 entre el módulo intermedio 30 y la cámara 12 de vacío y se transporta el sustrato 14 al interior del primer módulo calentador 16.

5 Una estación de salida de esclusa para vacío está configurada corriente abajo del último módulo 20 de enfriamiento, y opera esencialmente a la inversa de la estación de entrada de esclusa para vacío descrita anteriormente. Por ejemplo, la estación de salida de esclusa para vacío puede incluir un módulo intermedio 42 de salida y un módulo 44 de esclusa de salida corriente abajo. Hay dispuestas válvulas corredizas 34 operadas secuencialmente entre el módulo intermedio 42 y el último de los módulos 20 de enfriamiento, entre el módulo intermedio 42 y el módulo 44 de esclusa de salida, y entre el módulo 44 de esclusa de salida y un transportador 46 de salida. Una bomba 38 de vacío de precisión está configurada con el módulo intermedio 42 de salida, y una bomba 32 de vacío preliminar está configurada con el módulo 44 de esclusa de salida. Las bombas 32, 38 y las válvulas corredizas 34 son operadas secuencialmente para mover los sustratos 14 fuera de la cámara 12 de vacío de forma progresiva sin una pérdida de condición de vacío dentro de la cámara 12 de vacío.

15 El sistema 10 también incluye un sistema transportador configurado para mover los sustratos 14 al interior, a través y fuera de la cámara 12 de vacío. En la realización ilustrada, este sistema transportador incluye una pluralidad de transportadores 48 controlados individualmente, incluyendo cada uno de los diversos módulos un respectivo transportador de los transportadores 48. Se debería apreciar que el tipo o la configuración de los transportadores 48 puede variar. En la realización ilustrada, los transportadores 48 son transportadores de rodillos que tienen rodillos accionados de forma giratoria que están controlados de forma que consigan una velocidad deseada de transporte de los sustratos 14 a través del módulo respectivo y del sistema 10 en su conjunto.

20 Como se describe, cada uno de los diversos módulos y de los transportadores respectivos en el sistema 10 está controlado para llevar a cabo una función particular. Para tal control, cada uno de los módulos individuales puede tener un controlador independiente asociado 50 configurado con el mismo para controlar las funciones individuales del módulo respectivo. A su vez, la pluralidad de controladores 50 puede estar en comunicación con un controlador central 52 del sistema, como se ilustra esquemáticamente en la Fig. 1. El controlador central 52 del sistema puede monitorizar y controlar (por medio de los controladores independientes 50) las funciones de uno cualquiera de los módulos, de forma que se consiga una tasa de calentamiento, una tasa de deposición, una tasa de enfriamiento, una velocidad de transporte, etc. deseados en su conjunto, en el procesamiento de los sustratos 14 a través del sistema 10.

30 Con referencia a la Fig. 1, para un control independiente de los transportadores respectivos individuales 48, cada uno de los módulos puede incluir cualquier forma de sensor activo o pasivo 54 que detecte la presencia de los sustratos 14 según son transportados a través del módulo. Los sensores 54 están en comunicación con el controlador 50 del módulo respectivo, que a su vez están en comunicación con el controlador central 52. De esta forma, se puede controlar el transportador respectivo individual 48 para garantizar que se mantiene una separación apropiada entre los sustratos 14 y que se transportan los sustratos 14 a la velocidad deseada de transporte a través de la cámara 12 de vacío.

40 Las Figuras 2 a 5 se refieren a una realización particular del aparato 100 de deposición de vapor. Con referencia en particular a las Figuras 2 y 3, el aparato 100 incluye una cabeza 110 de deposición que define un espacio interior en el que hay configurado un receptáculo 116 para la recepción de una materia fuente granular (no mostrada). Como se ha mencionado, se puede suministrar la materia fuente granular por medio de un sistema o dispositivo 24 de alimentación (Fig. 1) por medio de un tubo 148 de alimentación (Fig. 4). El tubo 148 de alimentación está conectado a un distribuidor 144 dispuesto en una abertura en una pared superior 114 de la cabeza 110 de deposición. El distribuidor 144 incluye una pluralidad de orificios 146 de descarga que están configurados para distribuir uniformemente la materia fuente granular al interior del receptáculo 116. El receptáculo 116 tiene una parte superior abierta y puede incluir cualquier configuración de nervaduras internas 120 u otros elementos estructurales.

En la realización ilustrada al menos un termopar 122 está dispuesto de forma operativa a través de la pared superior 114 de la cabeza 110 de deposición para monitorizar la temperatura dentro de la cabeza 110 de deposición adyacente al receptáculo 116, o en el mismo.

50 La cabeza 110 de deposición también incluye paredes extremas longitudinales 112 y paredes laterales 113 (Fig. 5). Con referencia a la Fig. 5 en particular, el receptáculo 116 tiene una forma y una configuración tales que las paredes extremas 118 están separadas de las paredes extremas 112 de la cámara 110 de la cabeza. Las paredes laterales 117 del receptáculo 116 se encuentran adyacentes a las paredes laterales 113, y en estrecha proximidad con las mismas, de la cabeza de deposición, de forma que existe muy poco espacio libre entre las paredes respectivas, como se muestra en la Fig. 5. Con esta configuración, la materia fuente sublimada fluirá fuera de la parte superior abierta del receptáculo 116 y hacia abajo sobre las paredes extremas 118 como cortinas delanteras y posteriores de vapor 119, como se muestra en las Figuras 2, 3, y 5. Muy poca de la materia fuente sublimada fluirá sobre las paredes laterales 117 del receptáculo 116.

Un colector calentado 124 de distribución está dispuesto por debajo del receptáculo 116. Este colector 124 de distribución puede adoptar diversas configuraciones dentro del alcance de la invención, y sirve para calentar

indirectamente el receptáculo 116, al igual que para distribuir la materia fuente sublimada que fluye desde el receptáculo 116. En la realización ilustrada, el colector calentado 124 de distribución tiene una configuración de concha de almeja que incluye un miembro superior 130 de concha y un miembro inferior 132 de concha. Cada uno de los miembros 130, 132 de concha incluye rebajes en el mismo que definen cavidades 134 cuando los miembros de concha están acoplados entre sí como se muestra en las Figuras 2 y 3. Hay dispuestos elementos calentadores 128 dentro de las cavidades 134 y sirven para calentar el colector 124 de distribución hasta un grado suficiente como para calentar indirectamente la materia fuente dentro del receptáculo 116 para provocar la sublimación de la materia fuente. Los elementos calentadores 128 pueden estar fabricados de un material que reaccione con el vapor de la materia fuente y, en este sentido, los miembros 130, 132 de concha también sirven para aislar los elementos calentadores 128 del contacto con el vapor de la materia fuente. El calor generado por el colector 124 de distribución también es suficiente como para evitar que la materia fuente sublimada se electrodeposite sobre componentes de la cámara 110 de la cabeza. De forma deseable, el componente más frío en la cámara 110 de la cabeza es la superficie superior de los sustratos 14 transportados a través de la misma, de forma que se garantice que la materia fuente sublimada se electrodeposite sobre el sustrato, y no sobre los componentes de la cámara 110 de la cabeza.

Con referencia adicional a las Figuras 2 y 3, el colector calentado 124 de distribución incluye una pluralidad de pasos 126 definidos a través del mismo. Estos pasos tienen una forma y una configuración de manera que distribuyan uniformemente la materia fuente sublimada hacia los sustratos subyacentes 14 (Fig. 4).

En la realización ilustrada, la placa 152 de distribución está dispuesta por debajo del colector 124 de distribución a una distancia definida por encima de un plano horizontal de la superficie superior de un sustrato subyacente 14, como se muestra en la Fig. 4. Esta distancia puede ser, por ejemplo, desde aproximadamente 0,3 cm hasta aproximadamente 4,0 cm. En una realización particular, la distancia es de aproximadamente 1,0 cm. La velocidad de transporte de los sustratos por debajo de la placa 152 de distribución puede estar en el intervalo, por ejemplo, desde aproximadamente 10 mm/s hasta aproximadamente 40 mm/s. En una realización particular, esta velocidad puede ser, por ejemplo, aproximadamente 20 mm/s. El grosor de la capa de película de CdTe que se electrodeposita sobre la superficie superior del sustrato 14 puede variar dentro del alcance de la invención, y puede ser, por ejemplo, desde aproximadamente 1 μm hasta aproximadamente 5 μm . En una realización particular, el grosor de la película puede ser de aproximadamente 3 μm . La placa 152 de distribución es una placa 152 de distribución de molibdeno como se ha descrito con más detalle anteriormente.

Como se ha mencionado anteriormente, una porción significativa de la materia fuente sublimada fluirá fuera del receptáculo 116 como cortinas delantera y posterior de vapor 119, como se muestra en la Fig. 5. Aunque estas cortinas de vapor 119 se propagarán hasta cierto punto en la dirección longitudinal antes de pasar a través de la placa 152 de distribución, se debería apreciar que es improbable que se consiga una distribución uniforme de la materia fuente sublimada en la dirección longitudinal. En otras palabras, se distribuirá más de la materia fuente sublimada a través de las secciones extremas longitudinales de la placa 152 de distribución en comparación con la porción central de la placa de distribución. Sin embargo, como se ha expuesto anteriormente, debido a que el sistema 10 transporta los sustratos 14 a través del aparato 100 de deposición de vapor a una velocidad lineal constante (sin interrupción), las superficies superiores de los sustratos 14 estarán expuestas al mismo entorno de deposición con independencia de cualquier falta de uniformidad de la distribución del vapor a lo largo del aspecto longitudinal del aparato 100. Los pasos 126 en el colector 124 de distribución y los agujeros en la placa 152 de distribución garantizan una distribución relativamente uniforme de la materia fuente sublimada en el aspecto transversal del aparato 100 de deposición de vapor. Mientras que se mantenga el aspecto transversal uniforme del vapor, se deposita una capa de película delgada relativamente uniforme sobre la superficie superior de los sustratos 14 con independencia de cualquier falta de uniformidad en la deposición del vapor a lo largo del aspecto longitudinal del aparato 100.

Como se ilustra en las figuras, puede ser deseable incluir una protección 150 contra restos entre el receptáculo 116 y el colector 124 de distribución. Esta protección 150 incluye agujeros definidos a través de la misma (que pueden ser mayores o menores que el tamaño de los agujeros de la placa 152 de distribución) y sirve fundamentalmente para evitar que cualquier materia fuente granular o particulada pase a través e interfiera potencialmente en la operación de los componentes amovibles del colector 124 de distribución, como se expone con más detalle a continuación. En otras palabras, la protección 150 contra restos puede estar configurada para actuar como una pantalla porosa que inhibe el paso de partículas sin interferir sustancialmente en los vapores 119 que fluyen a través de la protección 150.

Con referencia a las Figuras 2 a 4 en particular, el aparato 100 incluye, de forma deseable, juntas 154 de estanqueidad que se extienden de forma transversal en cada extremo longitudinal de la cámara 110 de la cabeza. En la realización ilustrada, las juntas de estanqueidad definen una ranura 156 de entrada y una ranura 158 de salida en los extremos longitudinales de la cámara 110 de la cabeza. Estas juntas 154 de estanqueidad están dispuestas a una distancia por encima de la superficie superior de los sustratos 14 que es menor que la distancia entre la superficie de los sustratos 14 y la placa 152 de distribución, como se muestra en la Fig. 4. Las juntas 154 de estanqueidad ayudan a mantener la materia fuente sublimada en el área de deposición por encima de los sustratos. En otras palabras, las juntas 154 de estanqueidad evitan que la materia fuente sublimada "se escape" a través de los extremos longitudinales del aparato 100. Se debería apreciar que las juntas 154 de estanqueidad pueden estar

definidas por cualquier estructura adecuada. En la realización ilustrada, las juntas 154 de estanqueidad están definidas realmente por medio de componentes del miembro inferior 132 de concha del colector calentado 124 de distribución. También se debería apreciar que las juntas 154 de estanqueidad pueden cooperar con otra estructura del aparato 100 de deposición de vapor para proporcionar la función de cierre estanco. Por ejemplo, las juntas de estanqueidad pueden acoplarse con la estructura del conjunto transportador subyacente en el área de deposición.

También puede configurarse cualquier tipo de la estructura de la junta 155 de estanqueidad que se extienda longitudinalmente con el aparato 100 para proporcionar un cierre estanco a lo largo de los lados longitudinales del mismo. Con referencia a las Figuras 2 y 3, esta estructura 155 de estanqueidad puede incluir un miembro lateral que se extiende longitudinalmente que está dispuesto, en general, tan cerca como sea razonablemente posible a la superficie superior de la superficie subyacente de transporte, de forma que inhiba un flujo hacia fuera de la materia fuente sublimada sin acoplarse por fricción con el transportador.

Con referencia a las Figuras 2 y 3, la realización ilustrada incluye una placa amovible 136 de obturación dispuesta por encima del colector 124 de distribución. Esta placa 136 de obturación incluye una pluralidad de pasos 138 definidos a través de la misma que se alinean con los pasos 126 en el colector 124 de distribución en una primera posición operativa de la placa 136 de obturación, como se muestra en la Fig. 3. Como se puede apreciar fácilmente a partir de la Fig. 3, en esta posición operativa de la placa 136 de obturación, la materia fuente sublimada puede fluir libremente a través de la placa 136 de obturación y a través de los pasos 126 en el colector 124 de distribución para una distribución subsiguiente a través de la placa 152. Con referencia a la Fig. 2, la placa 136 de obturación es amovible hasta una segunda posición operativa con respecto a la superficie superior del colector 124 de distribución en el que los pasos 138 en la placa 136 de obturación están desalineados con los pasos 126 en el colector 124 de distribución. En esta configuración, se impide que a la materia fuente sublimada pase a través del colector 124 de distribución, y está contenido esencialmente dentro del volumen interior de la cámara 110 de la cabeza. Cualquier mecanismo adecuado de accionamiento, en su conjunto 140, puede estar configurado para mover la placa 136 de obturación entre las posiciones operativas primera y segunda. En la realización ilustrada, el mecanismo 140 de accionamiento incluye un vástago 142 y cualquier forma de mecanismo articulado adecuado que conecta el vástago 142 a la placa 136 de obturación. Se gira el vástago 142 mediante cualquier mecanismo ubicado externamente de la cámara 110 de la cabeza.

La configuración de la placa 136 de obturación ilustrada en las Figuras 2 y 3 es particularmente beneficiosa porque, según se desea, se puede contener rápida y fácilmente la materia fuente sublimada en la cámara 110 de la cabeza y se puede evitar que pase a través del área de deposición por encima de la unidad de transporte. Esto puede ser deseable, por ejemplo, durante el arranque del sistema 10 mientras que la concentración de los vapores 119 dentro de la cámara de la cabeza se acumula hasta un grado suficiente como para iniciar el procedimiento de deposición. Asimismo, durante la parada del sistema, puede ser deseable mantener la materia fuente sublimada dentro de la cámara 110 de la cabeza para evitar que el material se condense en el transportador u otros componentes del aparato 100.

Con referencia a la Fig. 4, el aparato 100 de deposición de vapor puede comprender, además, un transportador 160 dispuesto por debajo de la cámara 110 de la cabeza. Este transportador 160 puede estar configurado de forma única para el procedimiento de deposición en comparación con los transportadores 48 expuestos anteriormente con respecto al sistema 10 de la Fig. 1. Por ejemplo, el transportador 160 puede ser una unidad autocontenida de transporte que incluye un bucle sin fin en el que están soportados los sustratos 14 por debajo de la placa 152 de distribución. En la realización ilustrada, el transportador 160 está definido por una pluralidad de listones 162 que proporcionan una superficie ininterrumpida plana (es decir, sin huecos entre los listones) de soporte para los sustratos 14. El transportador de listones es accionado en un bucle sin fin en torno a ruedas dentadas 164. Sin embargo, se debería apreciar que la invención no está limitada a ningún tipo particular de transportador 160 para mover los sustratos 14 a través del aparato 100 de deposición de vapor.

La presente invención también abarca diversas realizaciones de procedimientos para la deposición de vapor de una materia fuente sublimada para formar una película delgada sobre un sustrato de un módulo FV. Se pueden poner en práctica los diversos procedimientos con las realizaciones del sistema descritas anteriormente o mediante cualquier otra configuración de componentes adecuados del sistema. Por lo tanto, se debería apreciar que las realizaciones de procedimientos según la invención no están limitadas a la configuración del sistema descrita en el presente documento.

En una realización particular, el procedimiento de deposición de vapor incluye suministrar materia fuente a un receptáculo dentro de una cabeza de deposición, y calentar indirectamente el receptáculo con un elemento que constituye una fuente de calor para sublimar la materia fuente. La materia fuente sublimada es dirigida fuera del receptáculo y hacia abajo dentro de la cabeza de deposición a través del elemento que constituye una fuente de calor. Se transportan sustratos individuales por debajo del elemento que constituye una fuente de calor. La materia fuente sublimada que pasa a través de la fuente de calor es distribuido sobre una superficie superior de los sustratos, de forma que las secciones delantera y posterior de los sustratos en la dirección de transporte de los mismos están expuestas a las mismas condiciones de deposición de vapor, de forma que se consiga un grosor uniforme deseado de la capa de película delgada sobre la superficie superior de los sustratos.

5 En una realización de procedimientos singular, la materia fuente sublimada es dirigida desde el receptáculo principalmente como cortinas delantera y posterior que se extienden de forma transversal con respecto a la dirección de transporte de los sustratos. Las cortinas de materia fuente sublimada están dirigidas hacia abajo a través del elemento que constituye una fuente de calor hacia la superficie superior de los sustratos. Estas cortinas delantera y posterior de materia fuente sublimada pueden estar distribuidas longitudinalmente hasta cierto punto con respecto a la dirección de transporte de los sustratos después de pasar a través del elemento que constituye una fuente de calor.

10 En otra realización de procedimientos singular adicional, los pasos para la materia fuente sublimada a través de la fuente de calor pueden ser bloqueados con un mecanismo de bloqueo accionado externamente, como se ha expuesto anteriormente.

De forma deseable, las realizaciones de procedimiento incluyen transportar continuamente los sustratos a una velocidad lineal sustancialmente constante durante el procedimiento de deposición de vapor.

15 Esta descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el modo preferente, y también para permitir que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo la realización y la utilización de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la técnica. Se pretende que tales otros ejemplos se encuentren comprendidos dentro del alcance de las reivindicaciones si incluyen elementos estructurales que no difieran del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales del lenguaje literal de las
20 reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (100) para la deposición de vapor de una materia fuente sublimada en forma de una película delgada sobre un sustrato (14) de un módulo fotovoltaico (FV), comprendiendo dicho aparato:
 - 5 una cabeza (110) de deposición;
 - un receptáculo (116) dispuesto en dicha cabeza (119) de deposición, estando configurado dicho receptáculo (116) para la recepción de una materia fuente granular;
 - un colector calentado (124) de distribución dispuesto por debajo de dicho receptáculo (116), configurado dicho colector calentado (124) de distribución para calentar dicho receptáculo (116) hasta un grado suficiente como para sublimar la materia fuente dentro de dicho receptáculo (116); y,
 - 10 una placa (152) de distribución que comprende más de aproximadamente un 75% en peso de molibdeno dispuesta debajo de dicho colector (152) de distribución y a una distancia definida por encima de un plano horizontal de transporte de una superficie superior de un sustrato (14) transportado a través de dicho aparato (100), definiendo dicha placa de distribución (152) un patrón de pasos a través de la misma que distribuyen, además, la materia fuente sublimada que pasa a través de dicho colector (152) de distribución.
- 15 2. El aparato (100) según la reivindicación 1, en el que la placa (152) de distribución comprende más de aproximadamente un 85% en peso de molibdeno, preferentemente más de aproximadamente un 95% en peso de molibdeno.
3. El aparato (100) según la reivindicación 1 o 2, en el que la placa (152) de distribución consiste esencialmente en molibdeno, consistiendo preferente en molibdeno.
- 20 4. El aparato (100) según cualquier reivindicación precedente, en el que dichos pasos en dicha placa (152) de distribución tienen un patrón tal que el flujo de la materia fuente sublimada procedente de dicho colector (124) de distribución está ininterrumpido a través de dicha placa (152) de distribución transversal a una dirección de transporte del sustrato (14) a través de dicho aparato (100).
- 25 5. El aparato (100) según cualquier reivindicación precedente, en el que dicho colector (124) de distribución define una pluralidad de pasos (126) a través del mismo para permitir el paso de materia fuente sublimada a través de dicho colector (124) de distribución.
- 30 6. El aparato (100) según cualquier reivindicación precedente, que comprende, además, una placa amovible (136) de obturación dispuesta por encima de dicho colector (124) de distribución, comprendiendo dicha placa (136) de obturación una pluralidad de pasos (138) a través de la misma que se alinean con dichos pasos (126) en dicho colector (124) de distribución en una primera posición de dicha placa (136) de obturación para permitir el paso de materia fuente sublimada a través de dicho colector (124) de distribución, amovible dicha placa (136) de obturación hasta una segunda posición en la que dicha placa (136) de obturación bloquea dichos pasos (126) en dicho colector (124) de distribución al flujo del material sublimado a través del mismo.
- 35 7. El aparato (100) según cualquier reivindicación precedente, que comprende, además, un mecanismo (140) de accionamiento conectado a dicha placa (136) de obturación para mover dicha placa (136) de obturación entre dichas posiciones primera y segunda.
8. El aparato (100) según cualquier reivindicación precedente, en el que dicho colector (124) de distribución comprende elementos internos (128) de calentamiento dispuestos entre dichos pasos (126) en dicho colector (124).
- 40 9. El aparato (100) según cualquier reivindicación precedente, que comprende, además, un transportador (160) dispuesto por debajo de dicha cabeza (110) de deposición, comprendiendo dicho transportador (160) un transportador de bucle sin fin sobre el cual están soportados los sustratos (14) por debajo de dicha placa (152) de distribución, estando configurado dicho transportador (160) para transportar los sustratos (14) a una velocidad lineal sustancialmente constante a través de dicho aparato (100) entre una ranura (156) de entrada y una ranura (158) de salida, de forma que las secciones delantera y posterior de los sustratos están expuestas generalmente a las mismas condiciones de deposición de vapor dentro de dicha cabeza (110) de deposición en una dirección de transporte de los sustratos (14) a través de dicho aparato (100).
- 45 10. Un procedimiento para la deposición de vapor de una materia fuente sublimada para formar una película delgada sobre un sustrato de un módulo fotovoltaico (FV), comprendiendo el procedimiento:
 - 50 suministrar materia fuente a un receptáculo dentro de una cabeza de deposición;
 - calentar indirectamente el receptáculo con un elemento que constituye una fuente de calor dispuesto por debajo del receptáculo para sublimar la materia fuente;
 - dirigir la materia fuente sublimada hacia abajo dentro de la cabeza de deposición a través del elemento que constituye una fuente de calor;
 - 55 transportar sustratos individuales por debajo del elemento que constituye una fuente de calor; y,

distribuir la materia fuente sublimada que pasa a través del elemento que constituye una fuente de calor sobre una superficie superior de los sustratos por medio de una placa de distribución que comprende más de aproximadamente un 75% en peso de molibdeno colocada entre la superficie superior del sustrato y el elemento que constituye una fuente de calor, definiendo dicha placa de distribución un patrón de pasos a través de la misma.

5

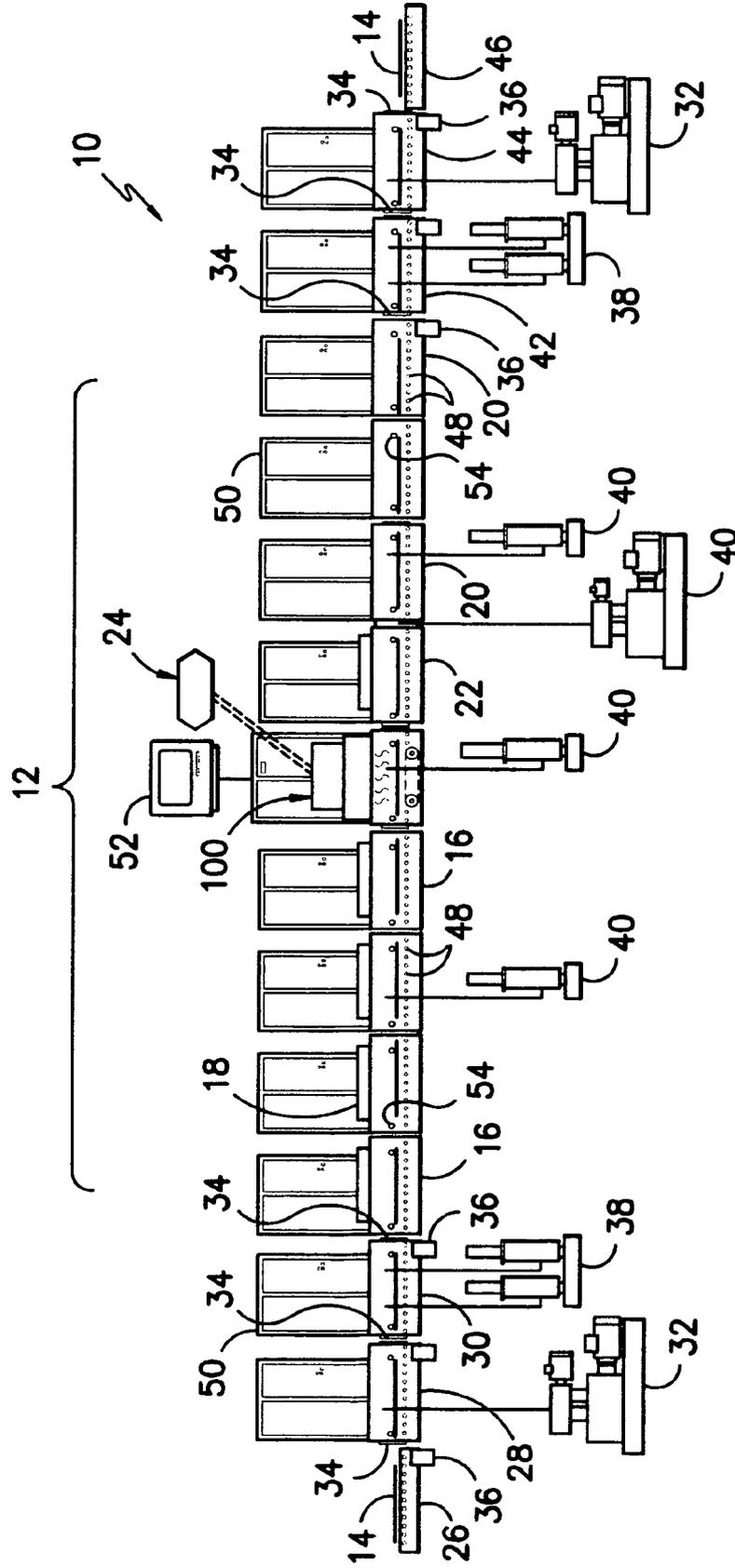
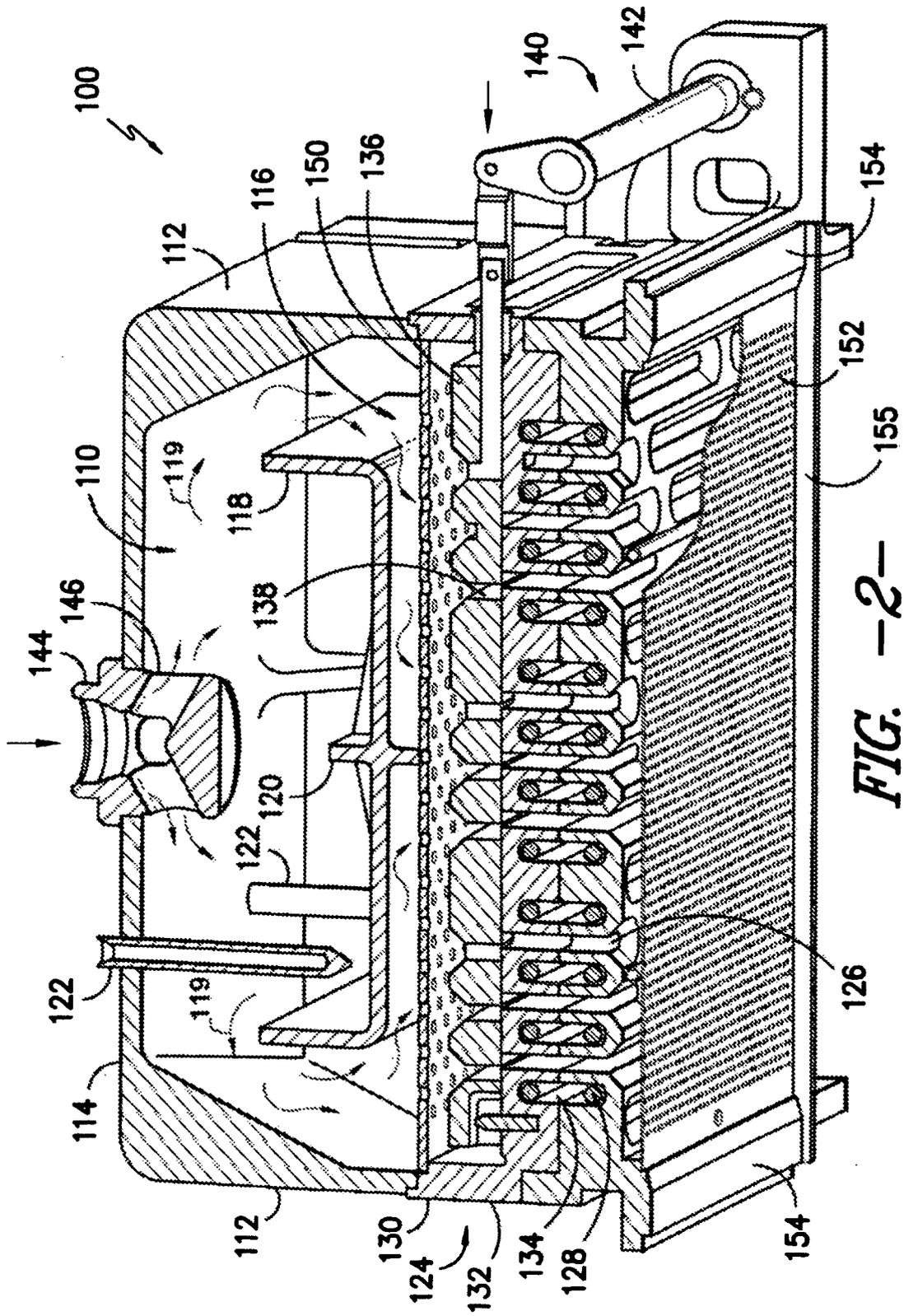
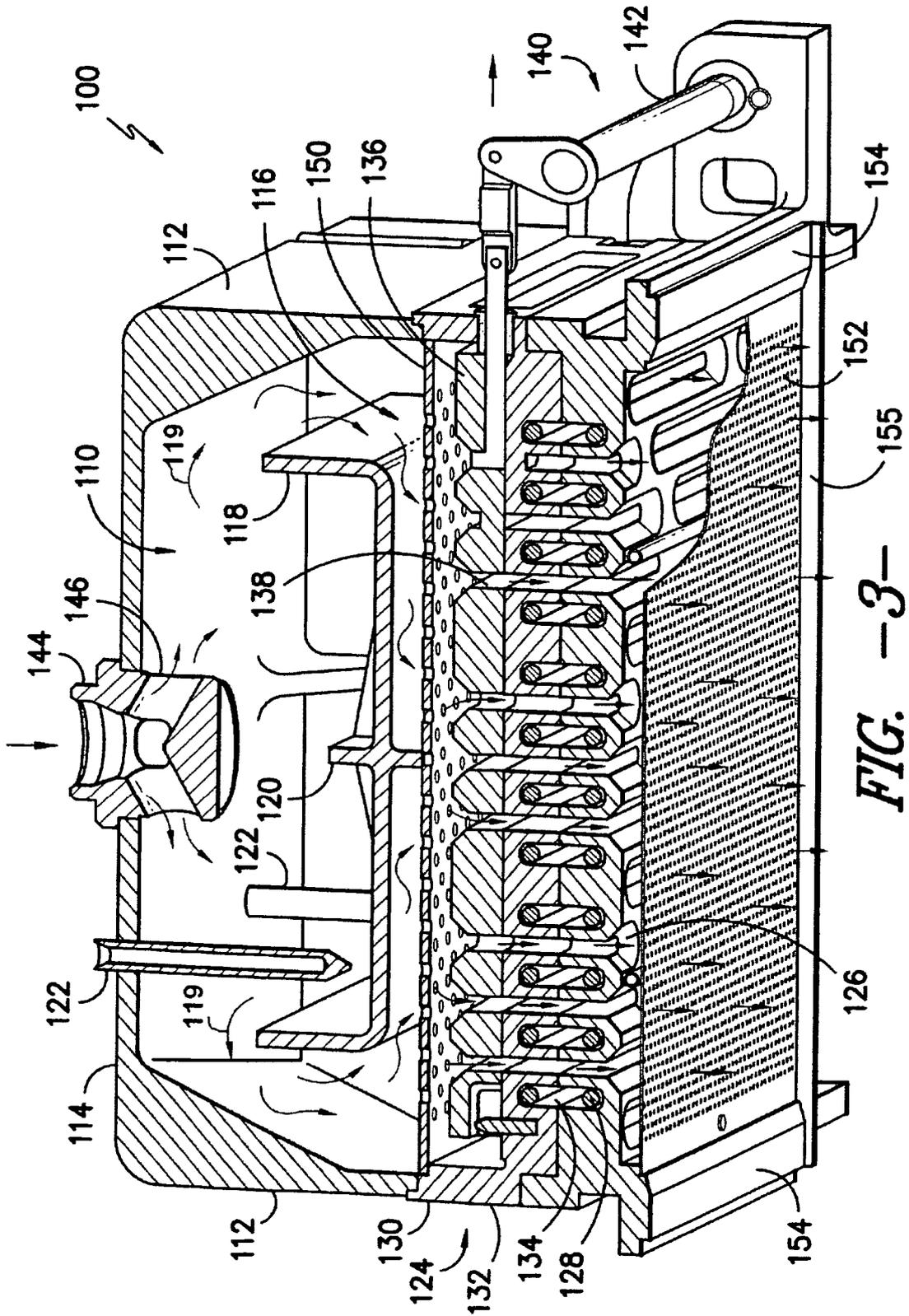


FIG. -1-





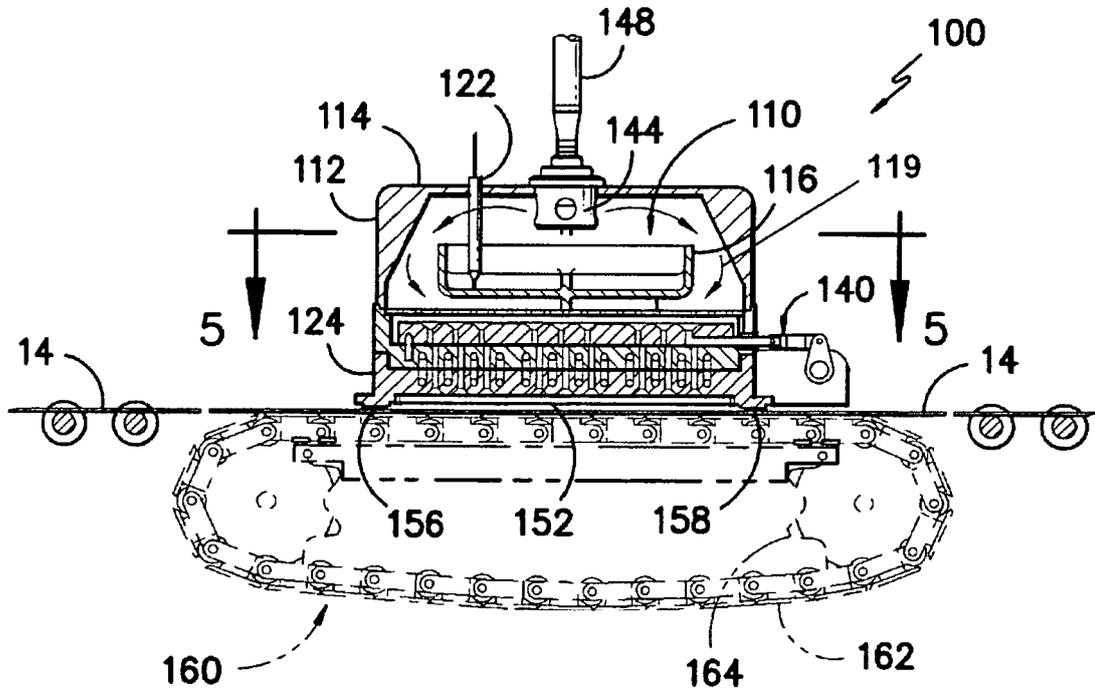


FIG. -4-

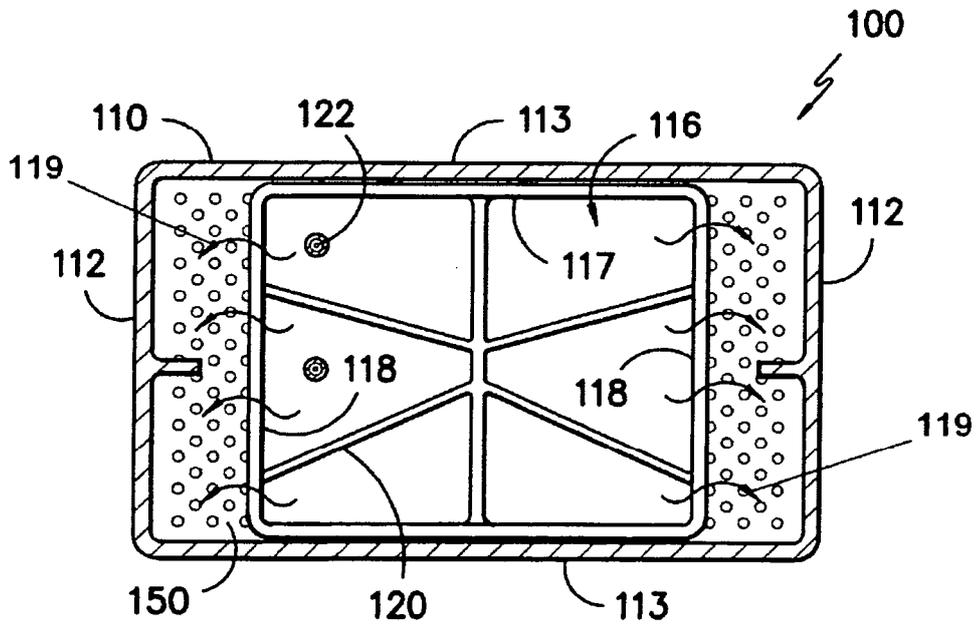


FIG. -5-